

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ КРУГЛОГО ДНАКОНІЧНОГО ОДНОРАЗОВОГО КАРТОННОГО ТА ПАПЕРОВОГО ПОСУДУ

Л. Б. Голдак¹, А. Б. Коломієць²

1. Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, Львів, 79000, Україна, lubomyrgoldak@gmail.com

2. Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, Львів, 79000, Україна, <https://orcid.org/0000-0001-6441-0234>, andrii.b.kolomiiets@lpnu.ua

Розроблено дослідний стенд для виконання досліджень явищ, що супроводжують згинання картону / паперу під час виготовлення донної частини харчових емностей та контейнерів. Стенд складається із станини, крокового двигуна, зубчасто-рейкового привода, інструментальної частини, електронної частини керування приводом. У стенді можливо змінювати інструментальну частину. Виготовлені та встановлені попарно матриці та пуанسونи з сталі або з термoplastичного матеріалу PETG. Циліндричний пуансон закріплювався на вимірювальній тензометричній скобі, матриця з круглим отвором децю меншого діаметру ніж пуансон – на кронштейні основі стенду. Були виконанні згинання круглих заготовок з картону товщиною 0,3-0,5 мм у чашкоподібну форму. В процесі експерименту рухомому пуансону надавався лінійний рух із різною швидкістю, а також із різними законами періодичного руху. Виявлені характерні діаграми для зусиль згинання, які являють собою фігури, подібні до трикутника з однією або двома слабо вираженими верхівками. Визначені питомі (лінійні) зусилля опору для зразків з покриттям лаком, металізованою плівкою та без них. одночасно контролювалась якість та рівномірність згинання картону по периметру кола. Опрацювання результатів експериментальних досліджень дозволяє визначити дійсні навантаження, що супроводжують цю технологічну операцію, рекомендувати певні режими роботи пристрою для створення раціональної енергоощадної конструкції обладнання для виготовлення одноразового харчового посуду з картону конусної форми.

Ключові слова: дослідження, картон, згинання, формування, одноразовий посуд, чашкоподібне дно, розміри, стенд, матриця, пуансон, вимірювальна балка.

Постановка проблеми.

Виробництво одноразового картонного посуду (стаканчиків, супниць, салатниць тощо) залишається актуальним і економічно доцільним напрямом у сфері пакування та обслуговування харчування.

Сегмент громадського харчування, доставки їжі та напоїв «togo» формує стабільний та зростаючий попит на одноразовий посуд. Паперові вироби стали стандартом обслуговування у кав'ярнях та офісному сегменті. Наприклад, світовий

ринок паперових стаканів і тарілок у 2025 році оцінювався приблизно у 122,7 млрд дол. США з прогнозом подальшого зростання до 2034 року [1].

Посилення вимог до скорочення пластикових відходів стимулює перехід на картонні та біорозкладні матеріали. Споживачі та бізнес орієнтуються на продукцію з відновлюваної сировини та можливістю утилізації [2]. Одноразовий посуд забезпечує належний рівень гігієни, що є критично важливим для масового обслуговування та публічних просторів. Перевагами використання такого посуду є низькі витрати на обслуговування (відсутність миття, логістики повернення), простота використання та утилізації. Галузь характеризується стабільним попитом, помірною конкуренцією та наявністю можливостей для входу нових виробників.

Рациональне проектування обладнання для виготовлення одноразового картонного посуду повинно базуватись на технологічній ефективності, ресурсозбереженні та відповідності вимогам ринку. Обладнання має забезпечувати повний цикл: формування заготовок корпусу та дна картонного посуду, з'єднання їх у єдину заготовку стаканчика, герметизацію його швів, заокруглення гострих крайок, переміщення та упакування готових виробів у тару та складування її.

В якості обладнання використовують роторні лінії, що здатні виробляти різні типи продукції (стакани різного об'єму, контейнери для їжі) з мінімальним переналагодженням. Важливим є дотримання вимог до енергоефективності, використання оптимізованих систем нагріву та електроприводів з мінімізованими витратами електроенергії знижує собівартість продукції. Конструкція обладнання повинна мінімізувати відходи картону через оптимізацію розкрою заготовок та точність формування їх у корпус або дно одноразового картонного посуду.

Обладнання має бути сумісним із екологічними матеріалами [3], а саме різними видами картону (крейдований, крафт, біорозкладні композити), що відповідає сучасним екологічним вимогам.

Ще однією вимогою до конструкції обладнання є модульний принцип побудови, що спрощує обслуговування, модернізацію та масштабування виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Наукові напрацювання вітчизняних дослідників становлять важливу основу для подальшого вивчення процесів, що виникають під час оброблення заготовок та функціонування механізмів, орієнтованих на енергоощадне виробництво одноразового картонного посуду. Зокрема, у роботах Задри В. під керівництвом Главацького А.С. визначено закономірності силових навантажень під час виготовлення круглих отворів методом висікання з використанням циліндричних інструментів [4]. Супутнім продуктом цієї операції є отримання круглих заготовок для подальшого формування дна картонного одноразового посуду, що використовується у відповідному обладнанні. Проблематикою отримання криволінійних паперових заготовок шляхом вирізування ножичними інструментами розкрито у працях Регей І.І., Млинка О.І. та інших учених.

Дослідженням процесів нанесення бігувальних ліній (ліній майбутніх згинів) та розроблення відповідного технологічного обладнання займалися вчені Регей І.І., Бегень П.І., Терницький С.В., Книш О.Б., Слобода Т.В., Коломієць А.Б., Котовський О.О. [5,6]. Вони дійшли до висновку, що застосування плоских

заготовок із попередньо сформованими бігувальними лініями є ефективним підходом до зниження зусиль формоутворення.

Закордонні дослідження у цій галузі представлені роботами науковців зі Швеції, Фінляндії, Китаю та Індії [7–10], проте як вітчизняні, так і іноземні публікації мають здебільшого розрізнений або реферативний характер. Системні комплексні дослідження зазначеної проблематики наразі невідомі широкому загалу.

Існуючі технічні рішення для формування паперових конічних контейнерів відзначаються складністю конструкції та обмеженим рівнем висвітлення у наукових джерелах. Досі недостатньо дослідженими залишаються процеси перетворення плоских паперових заготовок у просторові конічні форми. Особливо це стосується формування дна паперового стаканчика, де виникають складні явища локальних напружень, деформацій та нерівномірного розподілу зусиль.

Брак експериментально підтверджених даних щодо величин зусиль у процесах пластичного формування об'ємних предметів ускладнює створення адекватних теоретичних моделей. Це, у свою чергу, обмежує точність інженерних розрахунків і стримує розроблення ефективного обладнання для виготовлення паперових контейнерів. Ця проблематика має багатокомпонентний характер та вимагає проведення комплексних досліджень, зокрема у сфері механіки згинання картону, паперу та гофрокартону, моделювання процесів формоутворення та вдосконалення технологічного оснащення.

Мета статті. Основною метою дослідження є створення та застосування дослідного стенду, та визначення лінійних зусиль під час згинання картону круглими інструментами у чашоподібну форму за допомогою механізмів привода згаданого стенду, що слугуватиме передумовою для раціонального проектування енергоощадних пристроїв для формування з плоских картонних заготовок просторових частин харчових ємностей.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для валідації математичних моделей та уточнення їхніх параметрів з урахуванням властивостей матеріалу розгортки і умов згинання, було розроблено та модернізовано дослідний стенд. Цей стенд імітує функціонування інструментів, таких як формувальна колодка або пуансони, які приводяться в рух сервоприводом з програмною функцією «електронний кулачок». За основу для проведення першого етапу досліджень взято стенд, описаний у [11].

Згаданий стенд призначений для здійснення досліджень згинань заготовок з паперу, картону та гофрокартону. Так як картон є одношаровий і набагато тоншим матеріалом, очікувалось, що зусилля будуть значно меншими. Тому двигун не було змінено, як і вигляд інструментів.

Попередньо була розроблена твердотільна модель стенду (рис. 1), що дозволило визначити точні діапазони розмірів і величин, що потребували вимірювання.

На рис. 1 зображені елементи конструкції формувальних інструментів. Кронштейн 1 зафіксовано на рухомій каретці (не показана), до якого одним кінцем за допомогою двох гвинтів приєднана вимірювальна тензометрична балка 2. На другому кінці вимірювальної тензометричної балки встановлено

циліндричний пуансон 3. На корпусі експериментального стенду встановлено кронштейн 4, у вертикальні пази якого входять гвинти, що надають можливість переміщувати вертикально вузол матриці під час налагоджування стенду. Вузол матриці складається з власне матриці 6 (квадрат з отвором посередині) та дві стінки 5. Наявність стінок 5 дозволяє пуансону 3 переміщатись безперешкодно поза зовнішньої площини матриці 6 вглиб її простору і таким чином не тільки утворювати коло згину у круглій картонній заготовці, а і формувати бічні стінки дна.

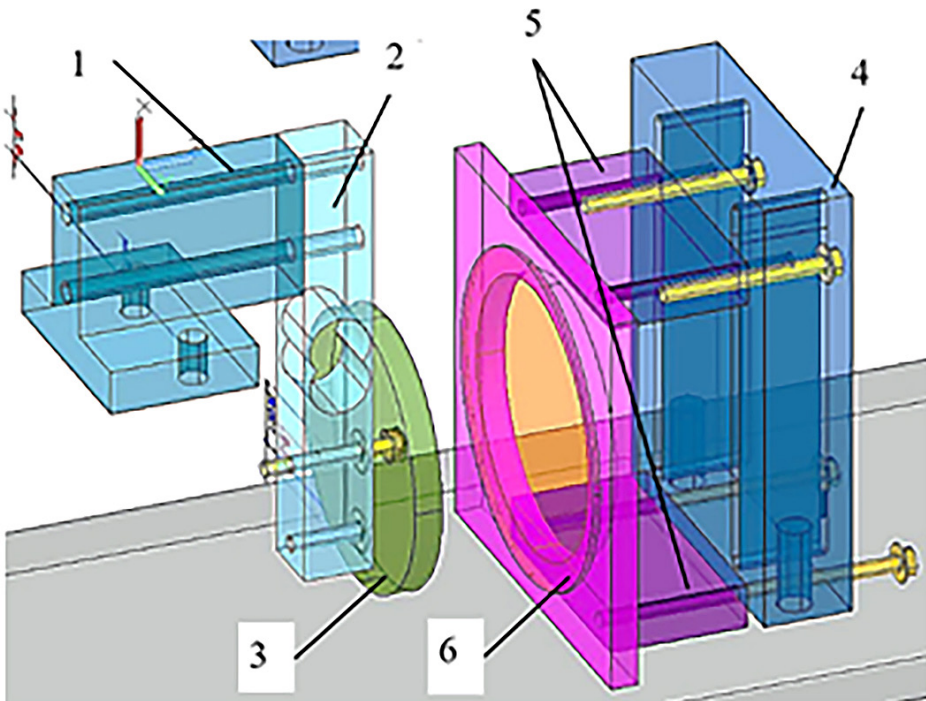


Рис. 1. Тривимірна модель виконавчих інструментів та встановлення їх на рухому частину стенду для дослідження

Діаметри отворів у матриці 6 добирались з найбільш поширених розмірів картонної конусної одноразової тари [14], під час вибору діаметри пуансона враховувалось, що товщина зігнутого матеріалу стінок буде втричі більшою за товщину матеріалу заготовок.

Наприклад, для отвору матриці діаметром 50 мм для якісного утворення чашоподібної заготовки дна з картону товщиною 0,35 мм слід застосовувати пуансон діаметром

$$d_{\text{п}} = D_{\text{м}} - 2 \times 3 \times \Delta = 50 - 2 \times 3 \times 0,35 = 47,9 \text{ мм},$$

де $D_{\text{м}}$ – діаметр дна картонного стаканчика; Δ – товщина паперу або картону, з якого створюється заготовка.

Були спроектовані та виготовлені та змонтовані ряд інструментів з різних матеріалів. Спершу були виготовлені сталеві пуансон та матриці (рис. 2).

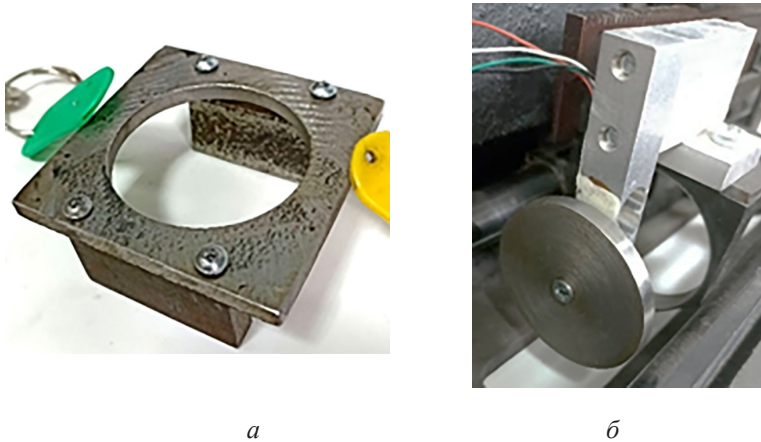


Рис. 2. Виконавчі інструменти стенду для дослідження (сталеві):
а – вузол матриці; б – пуансон, змонтований на скобі

Апробація їхньої роботи на експериментальному стенді виявила ряд недоліків конструкції та методики встановлення та налаштування їхньої позиції відносно заготовки. Було запропоновано та виготовлено методом 3Ддрукування додаткові інструменти (рис.3). Матеріал інструментів – поліетилентерефталат гліколю (PETG) – термопластичний матеріал, який вирізняється добрими експлуатаційними характеристиками. з початковою температурою плавлення 80 градусів, температурою екструзії 240-250 градусів.

Головна зміна у конструкції стосувалась матриці, які зроблено суцільною та враховано наявність напрямних у стенді, що ускладнювало його монтаж та налагоджування. Було виготовлено 3 пари інструментів для формування картонного дна діаметрами 30, 40 та 50 мм.

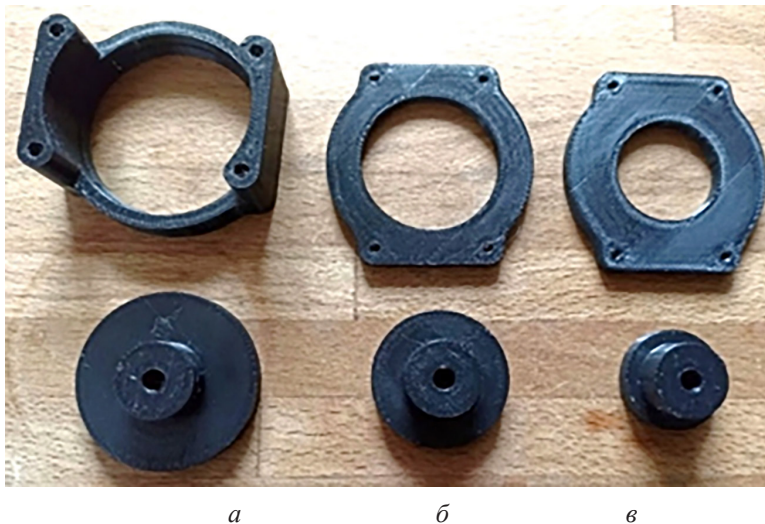
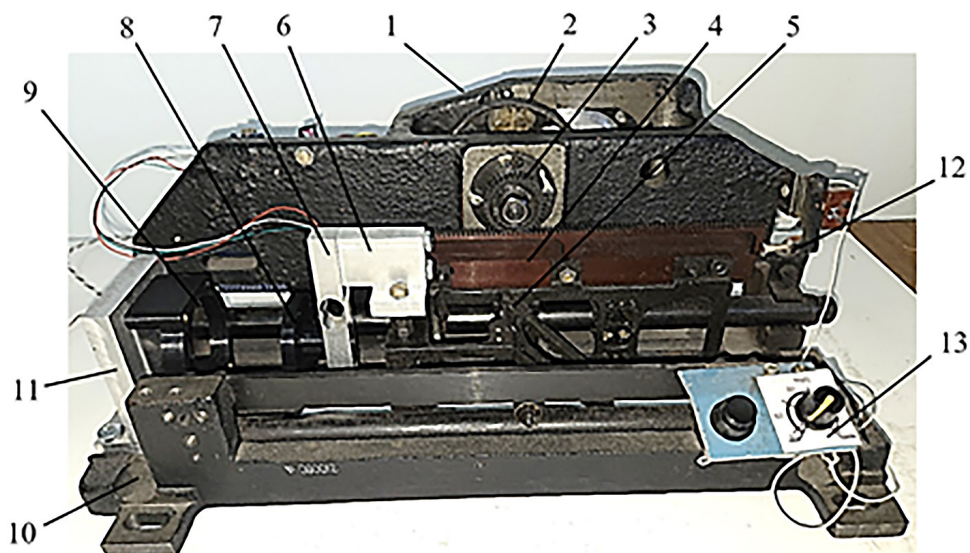


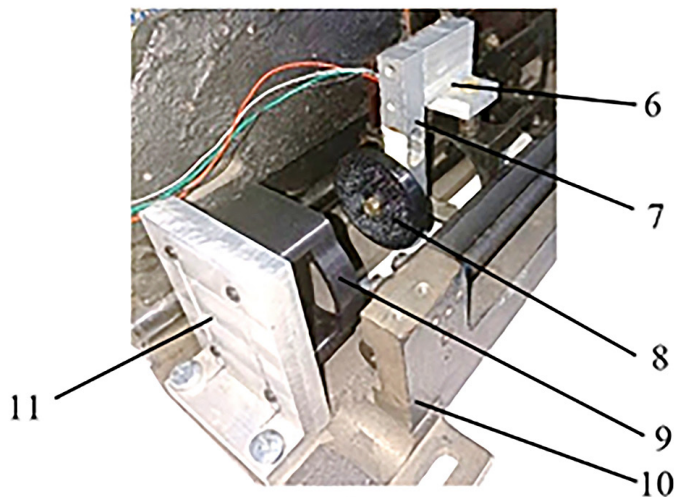
Рис. 3. Виконавчі інструменти стенду для дослідження (пластикові),
матриці та пуансони: а – діаметр 50 мм; б – діаметр 40 мм; в – діаметр 30 мм

За основу було використано універсальний стенд (рис. 4), описаний у працях [11, 12, 14]. Для урухомлення механізму переміщення каретки з пуансоном застосовано відомий кроковий двигун серії Nema 23 з кроком (кутом повороту вала) $1,8^\circ$ та моментом на валу до $1,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Драйвер керування цим двофазним кроковим двигуном здійснює програмне керування рухом каретки з інструментом у стенді. Максимальна частота широтно-імпульсної модуляції при цьому сягає до 200 кГц . Опис електронного керування стендом докладно представлено у [12].



а



б

Рис. 4. Стенд для дослідження процесу утворення просторової форми дна ємкості з плоскої заготовки: а – загальний вигляд стенду; б – змонтовані інструменти

Механічна частина експериментального стенда наступна. На валу серводвигуна 1 встановлено зубчасту шестерню, яка з веденим колесом утворює редукційну зубчасту передачу 2. Наданий рух згідно попередньо обраного закону (шаблону), заданому двигунові програмно згідно методики [15] передається до вхідного зубчастого колеса 3 зубчасто-рейкової передачі. На рухомій рейці 4 зафіксована каретка 5, на якій розташований фігурний кронштейн 6, до якого приєднана вимірна тензометрична балка 7. До нижнього кінця вимірної балки 7 прикріплений циліндричний пуансон-штовхач 8, геометричний центр якого розташований на загальній його осі та осі отвору матриці 9 та збігається з напрямком переміщення каретки 5.

До основи 10 експериментального стенду прикріплено кронштейн 11. До двох вертикальних пазів кронштейна 11 встановлена фігурна деталь матриці 9. зворотній хід каретки 5 з пуансоном 8 обмежував кінцевий вимикач 12. На стенді був встановлений також пульт керування 13 з опціями вибору закону руху та швидкості переміщення каретки 5.

Попередньо регулювалось положення встановленої матриці відносно пуансона з метою розміщення їхніх геометричних осей та, відповідно осі картонної заготовки на одній загальній осі з метою досягнення рівномірності розподілу навантаження по круглій твірній бокових стінок отвору матриці та отримання якісного результату. У початковому положенні відстань між торцями пластини-матриці 9 та пластини-пуансону 8 складала 10 мм. Загальний хід пуансона складав до 30 мм. Розміри круглих картонних заготовок обирались такими, щоб стінка сформованого чашкоподібного дна була у межах 4-5 мм.

В результаті роботи стенду встановлювались щільно до зовнішньої площини матриці круглі картонні заготовки, з яких після впливу на них пуансона утворювались чашкоподібні заготовки дна (рис. 5).

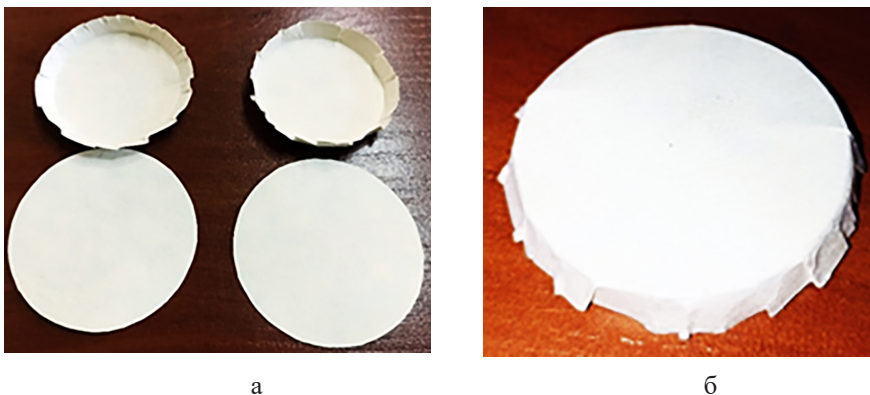


Рис. 5. Зразки отриманих картонних чашкоподібних донець
а – заготовки та сформовані денця; б – вигляд денця зі «зморшками»

Як було передбачено у [14] на бокових стінках дна утворені численні зморшки. Крок зморшок по периферії згину дна приблизно 8-12 мм. Вигляд бокових згинів-«зморшок» з різних сторін залежить від того, наскільки точно центр руху пуансона

збігається з центром круглої заготовки. Менша висота бокової стінки призводить до зменшення кроку «зморшок». Вигляд «зморшок» часто не є прямою лінією, радше кривою. Це призводить до збільшення довжини згинання на 15-20%, відповідно, зростання зусиль.

Отримані характерні діаграми для зусиль згинання (рис. 6-9), які являють собою нерівнобічну піраміду з однією або двома верхівками. Визначені питомі (лінійні) зусилля опору для зразків з поперечним та повздовжнім напрямком волокон відносно ліній згинання.

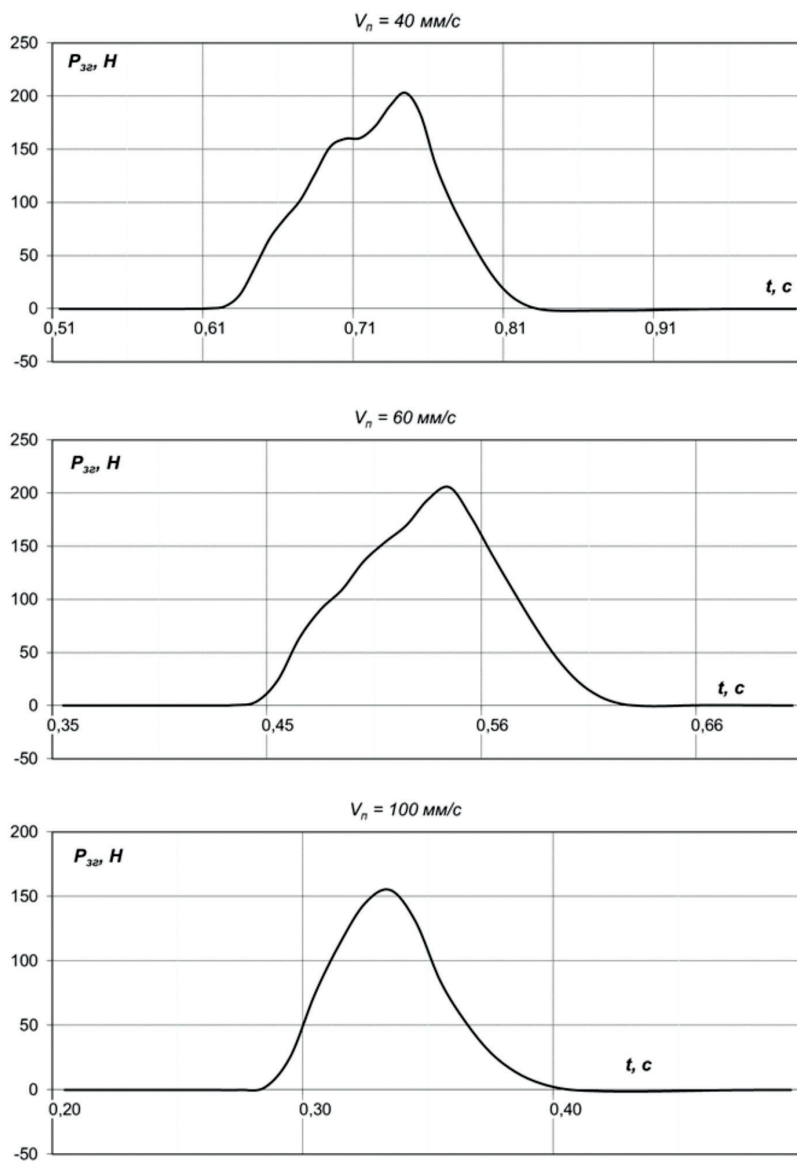


Рис. 6. Осцилограма зусилля згинання пуансоном заготовки діаметром 40 мм з картону товщиною 0,35 мм під час $V_n = 40; 60; 100 \text{ мм/с}$

Загалом осцилограми мають вигляд нерівнобічного трикутника (рис. 6), Площина біля максимального значення не гостра, згладжена, на відміну від подібних осцилограм з попередньої серії досліджень [13]. Слабко виражена «подвійна» верхівка спостерігається тільки для низьких швидкостей переміщення пуансона. Збільшення швидкості переміщення пуансона призводить до зменшення амплітуди зусилля згинання на 30 % (від 210 Н до 155 Н). Характер залежності на початковій фазі (згинанні) опуклий, На завершальній фазі (вихід інструмента з отриманого дна) – отримуємо пряму залежність, що пояснюється різним характером деформацій на цих етапах процесу.

Наступні осцилограми відображують вплив використання певних законів руху пуансона у процесі згинання (рис. 7). Слід зауважити, що закон руху пуансона мав вплив на заготовку не у «чистому вигляді», а тільки на частині циклу переміщення інструмента, яка відповідала контакту пуансона із заготовкою.

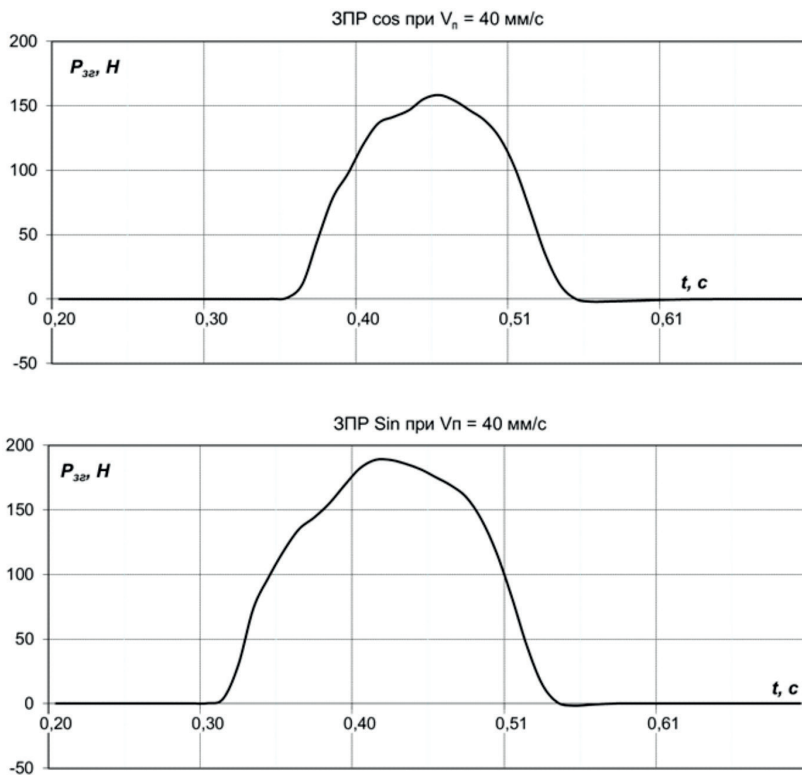
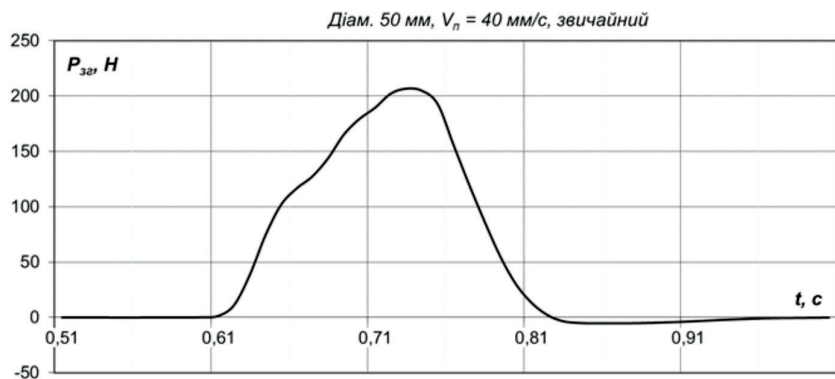


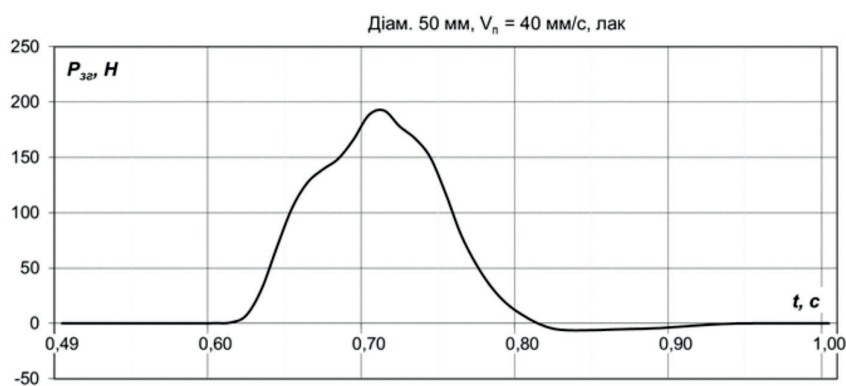
Рис. 7. Осцилограма зусилля згинання пуансоном заготовки діаметром 40 мм з картону товщиною 0,35 мм, для різних ЗПР під час руху $V_n = 40 \text{ мм/с}$

Несподіванкою було те, що із зміною швидкості переміщення пуансона відбувається зміна у співвідношенні впливу законів руху (ЗПР) «Косинусоїда» та «Синусоїда». Якщо під час переміщення пуансона із швидкістю $V_n = 40 \text{ мм/с}$ зусилля для ЗПР «косинусоїда» були на 18% меншими від аналогічного показника

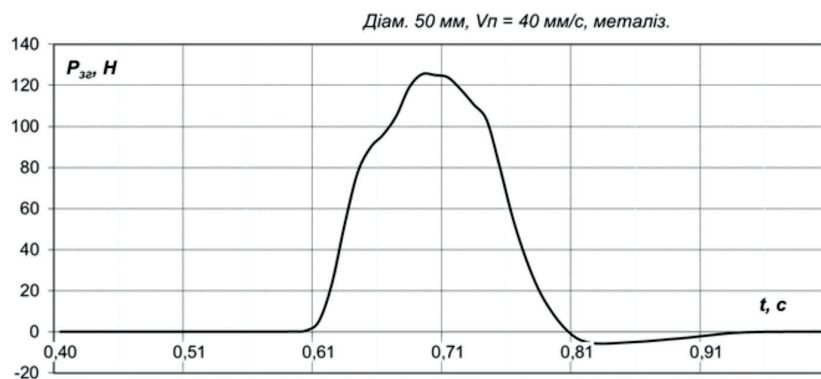
при ЗПР «Синусоїда», то для більших швидкостей ситуація докорінно змінилась (див. рис. 8).



а – звичайний



б – лакований



в – металізований

Рис. 8. Осцилограма зусилля згинання пуансоном заготовки картону діаметром 50 мм та товщиною 0,35 мм, лінії згину під час $V_n = 40$ мм/с

На рис. 8 представлені осцилограми виконаних вимірювань для більшої заготовки. Тут можна порівняти вплив додаткового оброблення поверхні картону на зусилля згинання. Слід констатувати, що металізовані покриття фактично отримують шар антифрикційного матеріалу, що суттєво зменшує зусилля згинання.

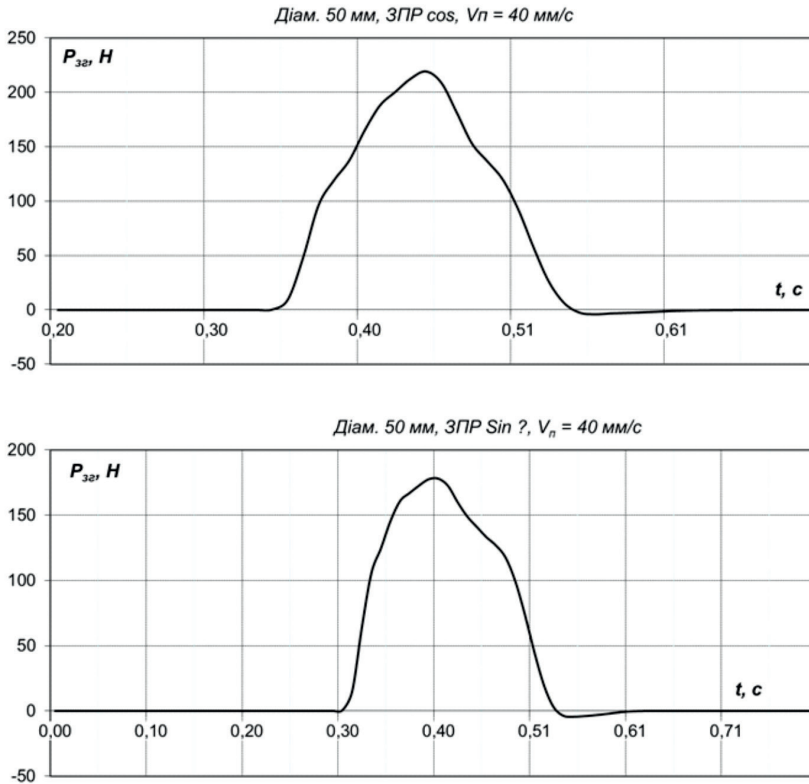


Рис. 9. Осцилограма зусилля згинання пуансоном заготовки діаметром 50 мм з картону товщиною 0,35 мм, для різних ЗПР під час руху $V_n = 40$ мм/с

На рис. 10 представлено консолідовану діаграму залежностей максимальних питомих зусиль згинання для різних діаметрів отриманого дна картонного посуду. для діаметрів дна 50 мм виконана серія експериментів, що досліджує згинання тієї самої партії заготовок з різних боків. Виявлено, що відмінності незначні, характер кривих для кожної з партій заготовок однаковий.

Несподівані результати виявлені для низьких швидкостей, де питомі зусилля для згину заготовок меншого два метру виявились найбільшими. У середньому діапазоні швидкостей отримуємо очікуване зростання величини питомого зусилля із збільшенням діаметру круглої заготовки, при високих швидкостях всі заготовки мають майже однакові питомі зусилля згинання від 1,3 до 1,43 Н/мм.

Найнижчі зусилля згинання 0,9 Н/мм відповідають формуванню чашоподібного дна діаметром 30 мм із швидкістю руху пуансона 60-75 мм/с.

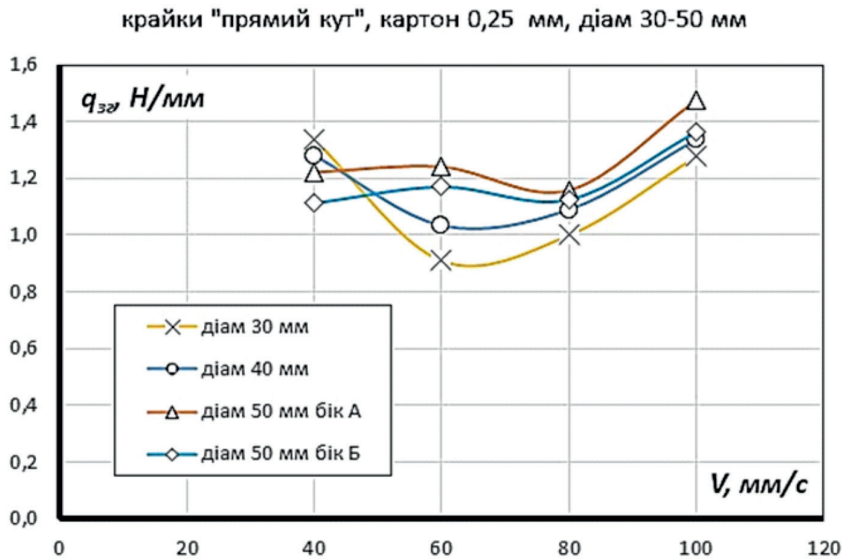


Рис. 10. Консолідована діаграму залежностей максимальних питомих зусиль згинання для різних діаметрів дна картонного посуду

Висновки. Розроблено та виконано програму експериментальних досліджень. для визначення процесів та зусиль під час виконання технологічної операції формування чашоподібного дна одноразового картонного посуду з попередньо висіченої круглої картонної заготовки. Запроектовано і виготовлено експериментальний стенд, за основу взято відомий аналог. Особливістю цього стенду є вигляд інструментів – матриці та пуансона. Набори інструментів різних типорозмірів виготовлені з різних матеріалів, доведено, що матеріал інструментів не впливає на силові та якісні результати процесу. Експериментальні дослідження виконані для різних швидкісних режимів, із застосуванням різних законів руху формуючого пуансона, для різних розмірів заготовок та для матеріалів з попередньою обробкою (лакування, металізація) та без неї. Визначені головні залежності, що дозволяє розробити рекомендації для раціонального проектування енергоощадного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Paper Cups and Paper Plates Market Share and Size 2026-2034*. Report ID: SR112026A847. IMarc group. https://www.imarcgroup.com/paper-cups-and-plates-market?utm_source=chatgpt.com
2. Регей І.І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення) : навч. посіб. Львів : Українська академія друкарства, 2011. 144 с.
3. ДСТУ 8862:2019. Вироби з паперу санітарно-гігієнічної та побутової призначеності. Технічні умови.
4. Задра В.М. Прорізування отворів у картоні (оптимізація енергосилових параметрів). Упаковка. К., 2003. №2. С. 30-31.
5. Книш О. Б., Слобода Т. В. Механіка руйнування картону при ножичному різанні з

використанням гострого ножа та незагостреного контрножа. Технологічні комплекси. 2013. № 2. С. 117-122.

6. Регей І. І., Бегень П. І. Оцінка силового навантаження в пристроях фальцювання розгортки з картону. Упаковка. 2012. № 3. С. 42–44.

7. Bonifer, J., Tanninen, P., and Leminen, V. (2024). "Effect of material properties on the paper cup manufacturing process," *BioResources* 19(4), 8493–8511.

8. Ramasubramanian, R., and Swecker, M. (2001). "Mechanics of brim forming in paperboard containers – An experimental investigation," *Journal of Manufacturing Science* 27, 113-117.

9. Vishtal, A., Hauptmann, M., Zelm, R., Majschak, J., and Retulainen, E. (2014). "3D forming of paperboard: The influence of paperboard properties on formability," *Packaging Technology and Science* 27(9), 677-691. DOI: 10.1002/pts.2056

10. Zade, Nikhil. (2021). Review on Paper Cup Manufacturing Process for Industry Automation. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 9. 850-853. 10.22214/ijraset.2021.33561.

11. Kolomiets A.B., Kandiak N.M., Kotovskii O.O. Experimental stand for research of forming process of a printed carton packaging // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези допов. IV Міжнародної науково-технічної конференції, 14-17 травня 2019р., м. Харків. – Харків: «Друкарня Мадрид», 2019. Т1. С. 26-27.

12. Кандяк Н.М., Коломієць А.Б., Котовський О.О. Засоби керування кроковим двигуном та вимірювання зусиль під час дослідження процесу згинання аркушевого матеріалу. Центральнотуристський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 7(38), ч. I. Кропивницький, 2023. С. 37-44. doi: 10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.37-44.

13. Коломієць А. Б., Кандяк Н. М., Голдак Л. Б., Котовський О. О. Експериментальні дослідження згинання картону шляхом його прошивання крізь матрицю. Квалілогія книги. Збірник наук. праць, № 2 (48), НУЛП, 2025, С. 96-106. doi: 10.32403/2411-3611-2025-2-48-96-106.

14. Коломієць А. Б., Шустикевич А. І., Голдак Л. Б. Особливості формування донної частини конічних паперових харчових ємкостей. Наукові записки, № 1 (70), НУЛП, 2025, С. 205-212. doi: 10.32403/1998-6912-2025-1-70-205-212.

15. Полудов О.М., Кузнєцов В.О., Коломієць А.Б. Розрахунки циклових механізмів поліграфічних і пакувальних машин на персональних комп'ютерах : навчальний посібник. – Львів : УАД, 2004. 96 с.

REFERENCES

1. Paper Cups and Paper Plates Market Share and Size 2026-2034. Report ID: SR112026A847. IMarc group. https://www.imarcgroup.com/paper-cups-and-plates-market?utm_source=chatgpt.com (in English)

2. Rehei I.I. (2011) *Spozhyvche kartonne pakovannia (materialy, proektuvannia, obladnannia dlia vyhotovlennia) : navch. posib*. Lviv : Ukrainska akademiia drukarstva. 144 s. (in Ukrainian).

3. DSTU 8862:2019. *Vyroby z paperu sanitarno-hihienichnoi ta pobutovoi pryznachnosti. Tekhnichni umovy*. (in Ukrainian)

4. Zadra V.M. (2003) *Prorizuvannia otvoriv u kartoni (optymizatsiia enerhosylovykh parametriv)*. Upakovka. K., №2. S. 30-31. (in Ukrainian)

5. Knysh O. B., Sloboda T. V. (2013) *Mekhanika ruinuвання kartonu pry nozhychnomu rizanni z vykorystanniam hostroho nozha ta nezahostrenoho kontrnozha. Tekhnolohichni komplekxy*. № 2. S. 117-122. (in Ukrainian)

6. Rehei I. I., Behen. P.I. (2012) *Otsinka sylovoho navantazhennia v prystroiakh faltsiuvannia rozghortok z kartonu. Upakovka*. 2012. № 3. S. 42–44. (in Ukrainian)
7. Bonifer, J., Tanninen, P., and Leminen, V. (2024). «Effect of material properties on the paper cup manufacturing process,» *BioResources* 19(4), 8493–8511.
8. Ramasubramanian, R., and Swecker, M. (2001). “Mechanics of brim forming in paperboard containers – An experimental investigation,” *Journal of Manufacturing Science* 27, 113-117.
9. Vishtal, A., Hauptmann, M., Zelm, R., Majschak, J., and Retulainen, E. (2014). “3D forming of paperboard: The influence of paperboard properties on formability,” *Packaging Technology and Science* 27(9), 677-691. DOI: 10.1002/pts.2056
10. Zade, Nikhil. (2021). Review on Paper Cup Manufacturing Process for Industry Automation. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 9. 850-853. 10.22214/ijraset.2021.33561.
11. Kolomiets A.B., Kandiak N.M., Kotovskii O.O. (2019) *Experimental stand for research of forming process of aprinted carton packaging. Polihrafichni, multymediini ta web-tehnologhii: tezy dopov. IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 14-17 travnia 2019 r., m. Kharkiv. – Kharkiv: «Drukarnia Madryd», 2019. Tl. S. 26-27.*(in Ukrainian)
12. Kandiak N.M., Kolomiets A.B., Kotovskiy O.O. (2023) *Zasoby keruvannia krokovym dvyhunom ta vymiriuvannia zusyl pid chas doslidzhennia protsesu zghynannia arkushevoho materialu. Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. 2023. Vyp. 7(38), ch. I. Kropyvnytskyi, 2023. S. 37-44. doi: 10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.37-44.(in Ukrainian)
13. Kolomiets A. B., Kandiak N. M., Holdak L. B., Kotovskiy O. O. *Eksperymentalni doslidzhennia zghynannia kartonu shliakhom yoho proshtovkhuvannia kriz matrytsiu. Kvalilohiia knyhy. Zbirnyk nauk. prats, № 2 (48), NULP, 2025, S. 96-106. doi: 10.32403/2411-3611-2025-2-48-96-106.*(in Ukrainian)
14. Kolomiets A. B., Shustykevych A. I., Holdak L. B. (2025) *Osoblyvosti formuvannia donnoi chastyny konichnykh paperovykh kharchovykh yemkosti. Naukovi zapysky, № 1 (70), NULP, 2025, S. 205-212. doi: 10.32403/1998-6912-2025-1-70-205-212.* (inUkrainian)
15. Poliudov O.M., Kuznietsov V.O., Kolomiets A.B. (2004) *Rozrakhunky tsyklovykh mekhanizmv polihrafichnykh i pakuvalnykh mashyn na personalnykh kompiuterakh : navchalnyi posibnyk. – Lviv : UAD, 2004. 96 s.* (inUkrainian)

doi: 10.32403/0554-4866-2026-1-91-287-301

RESEARCH OF THE PROCESS OF FORMING A ROUND BOTTOM OF CONICAL DISPOSABLE CARDBOARD AND PAPER TABLEWARE

L. B. Holdak¹, A. B. Kolomiets²

1. Lviv Polytechnic National University, 12, Stepan Bandera St., L'viv, 79000, Ukraine, lubomyrgoldak@gmail.com

2. Lviv Polytechnic National University, 12, Stepan Bandera St., L'viv, 79000, Ukraine, https://orcid.org/0000-0001-6441-0234, andrii.b.kolomiets@lpnu.ua

A research stand has been developed to conduct research on the phenomena that accompany the bending of cardboard or paper during producing of the bottom part of disposable food tableware and containers. The stand consists of a frame, a stepper

motor, a rack and pinion drive, a tool part, and an electronic part for controlling the drive.

It is possible to change the tool part in the stand. Matrices and punches made of steel or thermoplastic PETG material were manufactured and installed in pairs for various common bottom diameters. The cylindrical punch was fixed on a measuring strain gauge bracket, a matrix with a round hole of a slightly smaller diameter than the punch was mounted on the stand base bracket.

Round blanks of cardboard with a thickness of 0.25-0.5 mm were bent in order to obtain a cup-shaped bottom. During the experiment, the moving punch was given linear motion at different speeds, as well as with different laws of periodic motion. The oscillograms of changes in forces during the technological operation of forming the bottom of a dish or container were obtained by the method of strain gauges. Most of them have the form of an unequal triangle. The oscillograms obtained during the formation with the punch moving according to certain laws of motion are different, they are more oval.

The specific (linear) resistance forces were determined for samples coated with varnish, metallized film and without them. At the same time, the quality and uniformity of cardboard bending along the perimeter of the circle were controlled.

The processing of the results of experimental studies allows us to determine the actual loads accompanying this technological operation, to recommend certain operating modes of the device for creating a rational energy-saving design of equipment for the manufacture of disposable food containers from cone-shaped cardboard.

Keywords: *research, cardboard, bending, forming, disposable tableware, cup-shaped bottom, dimensions, stand, matrix, punch, measuring beam.*



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Л. Б. Голдак, А. Б. Коломієць

Стаття надійшла до редакції 05.05.2026.

Received 05.05.2026.

Прийнято до друку: 15.05.2026.

Accepted: 15.05.2026.

Опубліковано: 30.05.2026.

Published: 30.05.2026.